Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ЛТФТ
Лазерна техніка та
фізико-технічні технології

=

ТЕХНОЛОГІЯ ЛАЗЕРНОЇ РОЗМІРНОЇ ОБРОБКИ

Реквізити освітнього компоненту

Рівень вищої освіти *Перший (бакалаврський)*

Галузь знань *13 Механічна інженерія*

Спеціальність *131 Прикладна механіка*

Освітня програма
Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій

Статус дисципліни *вибіркова*

Форма навчання *денна (змішана)*

Рік підготовки *IV курс, 7 семестр*

Обсяг дисципліни *4,0 кредитів 120 годин*

Семестровий контроль/ *залік*

Контрольні заходи *модульна контрольна робота, яку виконують у два етапи*

Розклад занять *лекції, практичні та лабораторні роботи виконуються за розкладом на сайті*
< https://kpi.ua/ru/web-rozklad >

Мова викладання *українська*

Інформація про керівника курсу

Лектор: *д.т.н., професор Котляров Валерій Павлович*

~~про керівника курсу~~ kotlyarovv@ukr.net, +380 99 385 6117

викладачів

Практичні: *Козирєв Олексій Сергійович* +380 68 071 0051

Лабораторні: *Козирєв Олексій Сергійович* +380 68 071 0051

Отформатировано: По правому краю

Розміщення курсу: *Електронний кампус* та *Moodle в ПДН «Сікорський»* <https://do.ipo.kpi.ua/>

Київ 2024

Програма освітнього компоненту

Програма освітнього компоненту

Отформатировано: По ширине, интервал после: 0 пт, междустрочный, одинарный

1. Опис освітнього компоненту, його мета, предмет вивчення та результати навчання

Освітній компонент **"Технологія лазерної розмірної обробки"** подовжує загальну технологічну підготовку фахівців з урахуванням специфіки побудови технологічних операцій лазерної розмірної обробки (ЛРО), що пов'язано із властивостями інструменту та результатів його застосування. Особливість технологічних операцій лазерної обробки полягає в тому, що фахівець має справу з не матеріальним, часто-густо не видимим інструментом у вигляді згустку потужної електромагнітної енергії, який набуває експлуатаційних (режимних) властивостей лише під час виконання операції, тому процедури її проектування та практичної реалізації докорінно відрізняються від подібних завдань не тільки з механічної обробки різанням, а й для інших, нетрадиційних методів, які відносяться до класу фізико-технічних методів обробки (ФТМО).

Метою викладання освітнього компоненту є надання студентам можливість оволодіння алгоритмом створення технологічної операції ЛРО, включаючи прецизійну, що передбачає таку послідовність дій для стандартних виробничих ситуацій:

- попередній оцінюючий аналіз можливостей інших нетрадиційних методів обробки, а також механічної обробки різанням, що торкається розмірних, якісних, показників продуктивності та собівартості, для обґрунтування вибору методу;
- аналіз можливих технологічних схем обробки (операційних ескізів) з цією ж метою; та створення нових на базі використання особливих властивостей інструменту;
- режимне забезпечення обраної (розробленої) схеми обробки з урахуванням вимог технічного завдання (ТЗ) та можливостей технологічного обладнання взагалі або до якого є доступ;
- складання вимог, в разі необхідності, у вигляді завдання на проектування технологічного оснащення операції додатковим пристосуванням з метою спеціалізації технологічного обладнання для забезпечення виконання критеріальних вимог ТЗ.

Таким чином, **предметом освітнього компоненту** є технологічне забезпечення обраного процесу формоутворення заданих елементів заготовки лазерним променем.

Ця **мета** може бути досягнута в разі засвоєння студентами наступних **програмних результатів навчання** відповідно до послідовності дій:

Компетентностей:

ЗК 1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу

ЗК 2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК 3. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

ЗК 4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ФК 1. Здатність аналізу матеріалів, конструкцій та процесів на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук і прикладної механіки.

ФК 3. Здатність проводити технологічну і техніко-економічну оцінку ефективності використання нових технологій і технічних засобів.

ФК 7. Здатність застосовувати комп'ютеризовані системи проєктування (CAD), виробництва (CAM), інженерних досліджень (CAE) та спеціалізоване прикладне програмне забезпечення для вирішення інженерних завдань з прикладної механіки.

ФК 9. Здатність представлення результатів своєї інженерної діяльності з дотриманням загальноприйнятих норм і стандартів.

ФК 10. Здатність описувати та класифікувати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні основних механічних теорій та практик, а також базових знаннях суміжних наук.

ФК 16. Здатність обирати оптимальні та розробляти нові технології та обладнання для лазерних та фізико-технічних процесів з метою підвищення продуктивності та контрольованості цих процесів.

ФК 17. Здатність впроваджувати та освоювати технологічні процеси виробництва нової продукції, перевіряти якість монтажу та налагодження при випробуваннях і здачі в експлуатацію нових зразків виробів, вузлів, деталей і конструкцій.

Результати навчання освітнього компонента деталізують такі програмні результати навчання, передбачені освітньою програмою «*Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій*»:

ПРН 7. Застосовувати нормативні та довідкові дані для контролю відповідності технічної документації, виробів і технологій стандартам, технічним умовам та іншим нормативним документам.

ПРН 8. Знати і розуміти основи інформаційних технологій, програмування, практично використовувати прикладне програмне забезпечення для виконання інженерних розрахунків, обробки інформації та результатів експериментальних досліджень.

ПРН 9. Знати та розуміти суміжні галузі (механіку рідин і газів, теплотехніку, електротехніку, електроніку) і вміти виявляти міждисциплінарні зв'язки прикладної механіки на рівні, необхідному для виконання інших вимог освітньої програми.

ПРН. 23. Оптимально обирати, застосовувати, компонувати і перевіряти технічний стан та ресурс технологічного обладнання для лазерних та фізико-технічних технологій **.**

ПРН 24. Розробляти технологічні процеси та операції лазерних та фізико-технічних технологій з використанням їх переваг та особливостей.

ПРН 25. Розробляти технологічні процеси та операції лазерних та фізико-технічних технологій з використанням їх переваг та особливостей.

2. Пререквізити та постреквізити освітнього компоненту (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Для успішного засвоєння матеріалу освітнього компоненту необхідні знання, які одержуються студентом у попередніх курсах: **«Технологічні системи у виробництві»; "Фізика взаємодії концентрованих потоків енергії з речовиною"; "Технології та устаткування зварювання плавленням, лазерних та споріднених процесів. Частина 2";.**

~~Знання, які одержано під час вивчення освітнього компоненту, забезпечують опанування наступного компоненту курсів за навчальними планами підготовки бакалаврів: **"Виробництво**~~

отформатировано: Шрифт: не полужирный

отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Добавлено примечание ([T1]): обов'язковий абзац для всіх силабусів баклавра нової ОП

отформатировано: украинский

[illegible]
одержуються студентом у попередніх курсах: **«Технологічні системи у виробництві»; “Фізика взаємодії концентрованих потоків енергії з речовиною”; “Технології та устаткування зварювання плавленням, лазерних та споріднених процесів. Частина 2”;.**

Для успішного засвоєння матеріалу освітнього компоненту необхідні знання, які одержуються студентом у попередніх курсах: **«Технологічні системи у виробництві»; “Фізика взаємодії концентрованих потоків енергії з речовиною”; “Технології та устаткування зварювання плавленням, лазерних та споріднених процесів. Частина 2”;.**

Знання, які одержано під час вивчення освітнього компоненту, забезпечують опанування наступного компоненту курсів за навчальними планами підготовки бакалаврів: **“Виробництво конструкцій”,** також в переддипломній практиці та дипломному проектуванні. Ці знання будуть в витребувані в разі навчання в магістратурі відповідної спеціальності

4.3.Зміст освітнього компоненту

¶ Вступ. Мета та задачі освітнього компоненту

¶ Необхідність опанування компетенціями та навичками проектування технологічних операцій**.**

Місія та місце виконання процедур створення технологічних операцій. Технологія виготовлення виробів, формування окремих їх елементів та створення х них корисних вузлів машин, самостійних приладів та конструкцій – чи можна вважати це наукою? Яку мету переслідують творці технологій, виконуючи своє призначення?

отформатировано: Шрифт: не полужирный

Розділ 1. Характеристики фізико-технічних технологій розмірної обробки

Розділ 1. Характеристики нетрадиційних методівфізико-технічних технологій розмірної обробки

Тема 1.1*. Порівняння технологічних та техніко-економічних показників, виявлення переваг та недоліків лазерної розмірної обробки (ЛРО) в царині конкурентних фізико-технічних технологій.*

Тема 1.2. *Формування обґрунтованого висновку про переваги обраного виду технології.*

отформатировано: Шрифт: не полужирный

Розділ 2. Фізичні основи лазерної розмірної обробки. Механізми та етапи руйнування матеріалу заготовки пучком лазерного випромінювання при формуванні оброблювального елементу виробу

Тема 2.1*. Череда **етапів** впливу лазерного променя на заготовку. Їх кількісна та якісна залежність від параметрів опромінення останньої.*

Тема 2.2*. Види **впливу** опромінення на матеріал заготовки в залежності від її властивостей та характеристик променю.*

Тема 2.3. *Шляхи **керування** результатами лазерного опромінення: від нагрівання поверхні заготовки до реалізації керованого термоядерного синтезу.*

Розділ 3. Умови та алгоритм проектування технологічної операції ЛРО

Тема 3.1*. **Умови** та обставини проектування технологічної операції ЛРО, виходячи із робочого креслення виробу або ТЗ на його виготовлення.*

***Тема 3.2. Алгоритм** проектування технологічної операції ЛРО*

Розділ 4. Технологічні схеми обробки порожнин (отворів, лунок, щілин, пазів)

***Тема 4.1. Схеми** опромінення та вид інструменту відповідно до форми та розмірів поперeку елементу заготовки, що обробляється. Обробка в «ближній» та «дальній» зонах.*

4.1.1. *Засоби перетворення пучка лазерного випромінювання у* ***заготовку*** *обробляючого інструменту впливом на резонатор випромінювача*

4.1.2. *Перетворення променю за межами резонатору для формування* ***інструменту*** *у вигляді каустики променя відповідних розмірів та форми.*

4.1.3. *Особливості формування інструменту для формування* ***прецизійних*** *елементів некруглої форми мікро та нано розмірів.*

4.1.4. *Особливості схеми обробки та формування інструменту для виготовлення елементів* ***великих*** *розмірів (>1 мм).*

Тема 4.2*. Методи управління* ***поздовжньою*** *формою оброблювальних елементів.*

4.2.1. *Залежність* ***повздовжньої*** *форми мікро порожнин від схеми опромінення, шляхи збільшення її глибини .*

4.2.2. *Схеми формоутворення* ***глибоких*** *отворів з малим поперекром за рахунок використання явищ нелінійної оптики при обробці отворів з аспектною глибиною h/d >100*

Розділ 5. Методи визначення та налагодження режиму лазерної обробки порожнин

~~*Тема 4.5. Методи управління поздовженьою формою порожнин.*~~

Розділ 5. Методи визначення та налагодження режиму лазерної обробки порожнин

Тема 5.1. ***Історична*** *довідка про авторів та їх розробок у царині визначення закономірностей та шляхів впливу на кількісні результати ЛРО.*

Тема 5.2. ***Прогнозування*** *результатів обробки за аналітичними моделями. Оцінка достовірності прогнозування.*

Тема 5.3. ***Проектування*** *режимів ЛРО за аналітичними моделями, отриманими приближеним рішенням рівняння теплопровідності твердих тіл.*

Тема 5.4. ***Експериментальні*** *дослідження та моделювання операцій ЛРО.*

5.4.1. *Проектування режимів ЛРО.* ***Одно*** *критеріальні задачі.*

5.4.2. *Проектування режимів ЛРО.* ***Багато*** *критеріальні задачі.*

Тема 5.5. *Шляхи параметричного* ***керування*** *режимом обробки*

Тема 5.6. ***Нережимні*** *методи підвищення якості ЛРО*

5.4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Технологія лазерної обробки [Текст]: підручник./ В.П. Котляров. - Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, - 2010. – 308 с. **Доступ**: НТБ НТУУ «КПІ», сайт кафедри http://ltft.kpi.ua **CAMPUS**: https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=254762

2. Технологія лазерної розмірної обробки. [Текст] наочний навчальний посібник / В.П. Котляров. -Київ: НТУУ «КПІ», - 2023. – 210 с. Доступ: НТБ НТУУ «КПІ» http://ela.kpi.ua/handle/123456789/7907, сайт кафедри http://ltft.kpi.ua~~/ua/~~, CAMPUS: https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=254769

3. Чадюк В. О. Оптоелектроніка: від макро до нано. Передавання, перетворення та приймання оптичного випромінювання : навч. посіб. У 2-х кн. / В. О. Чадюк. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. – Кн. 1. – 376 с. (с. 254 – 291) CAMPUS: https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=259710

~~2. https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=227810~~

отформатировано: Шрифт: полужирный

отформатировано: Шрифт: полужирный

отформатировано: Шрифт: не курсив

отформатировано: Шрифт: полужирный

отформатировано: Шрифт: полужирный

отформатировано: Шрифт: полужирный

отформатировано: Цвет шрифта: Синий

отформатировано: Шрифт: полужирный

отформатировано: Цвет шрифта: Синий

отформатировано: Основной шрифт абзаца, Шрифт: 14 пт, русский

Код поля изменен

отформатировано: подчеркивание, Цвет шрифта: Синий

отформатировано: украинский

отформатировано: Основной шрифт абзаца, Шрифт: 14 пт

3. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» при їх спеціалізації «Лазерна техніка та комп'ютеризовані процеси фізико-технічної обробки матеріалів»». К: НТУУ «КПІ імені І. Сікорського», - 22 с.; гриф ММІ, протокол Н.-М. Ради ММІ №11 від 26.06.2017 р. Доступ: сайт кафедри http://ltft.kpi.ua/ua/, Campus https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=237539

4.

Додаткова література

1. Котляров В.П., Шкляр С.Г. // Систематизація технологічних засад прецизійної лазерної обробки. / Вісник НТУУ «КПІ» серія «Mechanics and Advanced Technologies» - 2019. - №2 (83) С. 61 – 76. Доступ: НТБ НТУУ «КПІ, CAMPUS: https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=254722
2. Котляров В.П., // Інженерія оптимізації температурних джерел в лазерній прецизійній обробці / Київ. НТУУ «КПІ» Mech. Adv. Technol. Vol. 7, No. 2, 2023, pp. 243–256 CAMPUS: https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=254723
3. Kotlyarov V.P., Kiyaschenco O.M. // Simplified Methodology for the Design of Technological providing for Operations of Laser Treatment. / Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2019, Vol. 55, No. 6, pp. 692 - 717. © Allerton Press, Inc., 2019. Доступ: http://ltft.kpi.ua, CAMPUS: https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=254737
4. Спосіб параметричного керування енергією лазерного променя. Котляров В.П., Дубнюк В.Л. Патент України №106630 B23K 26/04 по заявці № u 2015 12532 від 18.12.2015, оп. 25.04. 2016, б. №8. CAMPUS: https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=254738

Інформаційні ресурси

~~(сайт КАМПУС'у)~~

Інформаційні ресурси

1. http://ltft.kpi.ua~~/ua/~~, (сайт кафедри ЛТ та ФТТ)
2. login.kpi.ua (сайт CAMPUS)
3. library.ntu-kpi.kiev.ua (сайт науково – технічної бібліотеки НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)

45. Методичні матеріали також доступні в Moodle в ПДН «Сікорський» < https://do.ipo.kpi.ua/> або в аккаунті Kotlyarov.Valery@LLL.kpi.ua

Навчальний контент

5. Методика опанування освітнього компоненту

Навчальний матеріал освітнього компоненту викладається на заняттях згідно зі наступною структурою (табл. 1).

Таблиця 1. Структура викладання освітнього компоненту

Назви розділів та тем	Кількість годин				
	Усього	У тому числі			
		Лекції	Практ. заняття	Лаборат. роботи	СРС
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
Вступ.					
Необхідність опанування компетенціями та навичками проектування технологічних операцій					

отформатировано: без подчеркивания
Код поля изменен
отформатировано: Шрифт: 11 пт, не курсив, без подчеркивания, русский
отформатировано: без подчеркивания
отформатировано: Шрифт: 11 пт, не курсив
Отформатировано: Отступ: Слева: 0,06 см, нумерованный + Уровень: 1 + Стиль нумерации: 1, 2, 3, … + Начать с: 1 + Выравнивание: слева + Выровнять по: 1,25 см + Отступ: 1,88 см, Поз.табуляции: 0,5 см, по левому краю + нет в 0,75 см
отформатировано: Цвет шрифта: Синий
отформатировано: Шрифт: 11 пт
отформатировано: Цвет шрифта: Синий
отформатировано: Шрифт: 11 пт
отформатировано: Шрифт: 11 пт, без подчеркивания, Цвет шрифта: Авто
отформатировано: Шрифт: 11 пт
Код поля изменен
отформатировано: Гиперссылка, Шрифт: 12 пт, Цвет шрифта: Авто, украинский
отформатировано: Цвет шрифта: Авто, русский
отформатировано: Шрифт: не курсив
Отформатировано: По центру, интервал Перед: 18 пт, после: 0 пт
Код поля изменен
отформатировано: Цвет шрифта: голубой
отформатировано: Цвет шрифта: голубой
отформатировано: Цвет шрифта: голубой
отформатировано: Шрифт: не курсив
отформатировано: русский
отформатировано: Основной шрифт абзаца, Цвет шрифта: голубой, Граница: : (Без границ), Узор: Нет
Код поля изменен
отформатировано ...
отформатировано: Шрифт: 10 пт
Отформатировано ...
отформатировано: Шрифт: 10 пт, полужирный
отформатировано: Шрифт: 12 пт, полужирный
отформатировано: Шрифт: 10 пт
Отформатировано ...
отформатировано: Шрифт: курсив
Отформатировано ...
отформатировано: Шрифт: курсив
отформатировано: Шрифт: 10 пт, не полужирный
Отформатировано ...

Назви розділів та тем	Кількість годин				
	Усього	У тому числі			
		Лекції	Практ. заняття	Лаборат. роботи	СРС
1	2	3	4	5	6
Місія та місце виконання процедур створення технологічних операцій. Технологія виготовлення виробів, формування окремих їх елементів та створення х них корисних вузлів машин, самостійних приладів та конструкцій – чи можна вважати це наукою? Яку мету переслідують творці технологій, виконуючи своє призначення? ~~Огляд змісту кредитного модулю, його структури, призначення, навчальна база та місце в системі підготовки фахівця~~	~~21~~	1 ~~1~~	~~1~~	~~-~~	~~-~~
Разом вступ	1	1			
Розділ 1. Характеристики фізико-технічних технологій розмірної обробки ~~**Розділ 1. Характеристики нетрадиційних методів розмірної обробки**~~					
Тема 1.1. Порівняння технологічних та техніко-економічних показників, виявлення переваг та недоліків лазерної розмірної обробки (ЛРО) в царині конкурентних фізико-технічних технологій. ~~Тема 1.1. Порівняння технологічних та техніко-економічних показників, виявлення переваг та недоліків лазерної розмірної обробки (ЛРО)~~	~~51~~	0.5 ~~1~~	20.5	-	~~2~~
Тема 1.2. Формування обґрунтованого висновку про переваги обраного виду технології.	1	0.5	0.5	-	-
Разом за розділом 1	~~5~~2	1	~~21~~	-	~~2~~
Розділ 2. Фізичні основи лазерної розмірної обробки. Механізми та етапи руйнування матеріалу заготовки пучком лазерного випромінювання при формуванні оброблювального елементу виробу ~~**Розділ 2. Фізичні основи лазерної розмірної обробки. Етапи руйнування матеріалу заготовки пучком лазерного випромінювання**~~					
Тема 2.1. Черега етапів впливу лазерного променя на заготовку. Їх кількісна та якісна залежність від параметрів опромінення останньої ~~Тема 2.1. Етапи діяння лазерного променя на заготовку~~	2.5	~~10~~.5	~~21~~	-	~~21~~
Тема 2.2. Види впливу опромінення на матеріал заготовки в залежності від її властивостей та характеристик променю. ~~Тема 2.2. Види впливу опромінення на матеріал заготовки~~	1.5	~~20~~.5	~~1~~	-	~~12~~
Тема 2.3. Шляхи керування результатами лазерного опромінення: від нагрівання поверхні заготовки до реалізації керованого термоядерного синтезу ~~Тема 2.3. Шляхи керування результатами лазерного опромінення~~	~~5~~3	1	~~21~~	-	~~12~~
Разом за розділом 2	~~15~~7	~~4~~2	~~5~~2	-	~~6~~3
Розділ 3. Умови та алгоритм проектування технологічної операції ЛРО ~~Розділ 3. Умови та алгоритм проектування технологічної операції ЛРО~~					
Тема 3.1. Умови та обставини проектування технологічної операції ЛРО, виходячи із робочого креслення виробу або ТЗ на його виготовлення ~~Тема 3.1. Обставини та умови проектування~~	2.5	1	~~20~~.5		~~21~~
Тема 3.2. Алгоритм проектування технологічної операції ЛРО ~~Тема 3.2. Алгоритм проектування технологічної операції ЛРО~~	2.~~5~~7	~~3~~1	~~20~~.5	-	~~21~~
Разом за розділом 3	~~5~~12	~~4~~2	~~4~~1	-	~~4~~2
Модульна контрольна робота 1	1				1
Розділ 4. Технологічні схеми обробки порожнин (отворів, лунок, щілин, пазів) ~~Розділ 4. Технологічні схеми обробки порожнин (отворів, щілин, пазів) різноманітної форми та розмірів~~					
Тема 4.1. Схеми опромінення та вид інструменту відповідно до форми та розмірів попереку елементу заготовки, що обробляється. Обробка в «ближній» та «дальній» зонах.					
4.1.1. Засоби перетворення пучка лазерного випромінювання у **заготовку** обробляючого інструменту впливом на резонатор випромінювача	5	2 ~~1~~	1 ~~2~~		~~12~~
4.1.2. Перетворення променю за межами резонатору для формування **інструменту** у вигляді каустики променя відповідних розмірів та форми.	3	1	1		1
4.1.3. Особливості формування інструменту для формування прецизійних елементів некруглої форми мікро та нано розмірів.	3	1	1		1
4.1.4. Особливості схеми обробки та формування інструменту для виготовлення елементів великих розмірів (>1 мм). ~~Тема 4.1. Методи управління формою поперек порожнин~~	~~3~~4	1	1	-	1
Тема 4.2. Методи управління поздовжньою формою оброблювальних елементів.				-	
4.2.1. Залежність повздовжньої форми мікро порожнин від схеми опромінення, шляхи збільшення її глибини .	2	~~1~~2	1		~~2~~

отформатировано
отформатировано
Отформатировано
отформатировано
отформатировано
Отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
Отформатировано
отформатировано
отформатировано
Отформатировано
Форматированная таблица
отформатировано
отформатировано
Отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
Отформатировано
отформатировано
отформатировано
Отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
Отформатировано
Отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
Отформатировано

Назви розділів та тем	Кількість годин				
	Усього	У тому числі			
		Лекції	Практ. заняття	Лаборат. роботи	СРС
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
4.2.2. *Схеми формоутворення глибоких отворів з малим поперекомза рахунок використання явищ нелінійної оптики при обробці отворів з аспектною глибиною h/d >100Тема 4.2. Формування та перетворення каустики пучка випромінювання як інструменту*	62	1	2		1
Тема 4.3. Схеми формоутворення глибоких отворів з малим попереком	4	1	2	-	1
Тема 4.4. Схеми обробки точних та отворів складного профілю	35	1	2	-	21
Тема 4.5. Методи управління повздовжньою формою порожнини	5	1	2	-	2
Разом за розділом 4	2418	67	105	-	86
Розділ 5. Методи визначення та налагодження режиму лазерної обробки порожнинРозділ 5. Методи визначення режиму лазерної обробки порожнини					
Тема 5.1. *Історична довідка про авторів та їх розробок у царині визначення закономірностей та шляхів впливу на кількісні результати ЛРОТема 5.1. Прогнозування результатів обробки за аналітичними моделями*	81	21	-2	2	2
Тема 5.2. *Прогнозування результатів обробки за аналітичними моделями. Оцінка достовірності прогнозування.*	5	1		2	2
Тема 5.3*. Проектування режимів ЛРО за аналітичними моделями, отриманими приближеним рішенням рівняння теплопровідності твердих тіл*	7	2	1	2	2
Тема 5.4. *Експериментальні дослідження та моделювання операцій ЛРО.* ***5.4.1.*** *Проектування режимів ЛРО. Одно критеріальні задачі.* ***5.4.2****. Проектування режимів ЛРО. Багато критеріальні задачі.Тема 5.2. Проектування режимів ЛРО за аналітичними моделями*	9 13 18	4 62	1 22	2 6 6	32 4
Тема 5.3. Дослідження та моделювання операцій ЛРО	16	6	4	2	4
Тема 5.4. Проектування режимів ЛРО. Одно критеріальні задачі	18	4	2	6	6
Тема 5.5. Проектування режимів ЛРО. Багато критеріальні задачі	26	6	4	6	10
Тема 5.5*. Шляхи параметричного керування режимом обробки*	7	3	2		2
Тема 5.*7 Нережимні методи підвищення якості ЛРО*	**6**	**3**	**1**		**2**
Разом за розділом 5	7766	2023	149	18	2516
Модульна контрольна робота 2	**1**				**1**
РГР	**1510**	-	-	-	**1510**
ЕкзаменЗалік	3010				**3010**
Всього годин	**180120**	**36**	**3618**	**18**	**9048**

5.1. Лекційні заняття

5.1.Таблиця 2. Теми лекційних занять

№ з/плек	Назва теми лекції та перелік основних питань *(перелік дидактичних засобів, завдання на СРС з посиланням на літературу)*
1	***Вступ. Мета та задачі освітнього компоненту.***
	Необхідність опанування компетенціями та навичками проектування технологічних операцій. Місія та місце виконання процедур створення технологічних операцій. Технологія виготовлення виробів, формування окремих їх елементів та створення х них корисних вузлів машин, самостійних приладів та конструкцій – чи можна вважати це наукою? Яку мету переслідують творці технологій, виконуючи своє призначення?
Розділ 1. Характеристики фізико-технічних технологій розмірної обробкиРозділ 1. Характеристики нетрадиційних методів розмірної обробки	
11	***Тема 1.1.*** Місце лазерної розмірної обробки у системі **фізико-технічних технологій розмірної обробки.** Формування обґрунтованого висновку про переваги обраного виду технологіїелектрофізичних та електрохімічних методів (ЕФХМО). Порівняння (ЕФХМО) за техніко-економічними показниками у різних умовах обробки Література: базова - [1], стор. 8-11; [2], Пр. 1, сл. № 10-12,

	Завдання на СРС: Кількісні досягнення відносно розмірних, якісних та економічних показників конкурентних методів. Навести ті, з яких лазерна розмірна обробка перевершує досягнення інших методів. Які практичні технологічні задачі обробки отворів вирішуються з меншими витратами (економічними та технічними) з використанням нетрадиційних методів обробки. Вибрати найбільш ефективний метод формування системи з чотирьох отворів діаметром 0,1 мм, які розташовано у кутах квадрату із стороною 0,5 мм. Заготовка – листовий матеріал із конструкційної кераміки 22ХС товщиною 0,5 мм. Обгрунтувати зроблений вибір шляхом аналізу можливостей кожного з методів в умовах поставленого завдання. Література: додаткова
	Розділ 2. Фізичні основи лазерної розмірної обробки. Механізми та етапи руйнування матеріалу заготовки пучком лазерного випромінювання при формуванні оброблювального елементу виробу ~~**Розділ 2. Фізичні основи лазерної розмірної обробки. Етапи руйнування матеріалу заготовки пучком лазерного випромінювання**~~
~~2.~~2	***Тема 2.1.*** **Черега етапів впливу лазерного променя на заготовку.** Їх кількісна та якісна залежність від параметрів опромінення останньої~~**Параметри пучка випромінювання,**~~ ~~які визначають характер взаємодії випромінювання з матеріалом заготовки. Вплив теплових властивостей матеріалу заготовки на результат дії випромінювання. Методи параметричного впливу на пучок випромінювання~~. Література: базова - [1], стор. 12-16; [2], Пр. 1, сл. № 16-19, [~~6~~3], стор. 280 - 286 Завдання на СРС: Навести незалежні та комплексні параметри пучка випромінювання та зв'язок між ними. Які теплофізичні властивості матеріалу заготівки впливають на характер та результати діяння променя на заготівку. Визначити засоби параметричного керування пучком випромінювання/ Література: базова [3], додаткова [1]
~~22~~.	***Тема 2.2.*** **Види впливу опромінення** на матеріал заготовки в залежності від її властивостей та характеристик променю.~~**Етапи перетворення енергії випромінювання. Види впливу опромінення на матеріал заготовки**~~ Поглинення та перетворення променистої енергії різними матеріалами. Закон Бугера. Нагрів та руйнування матеріалу заготовки за імпульсному та безперервному режимі подачі енергії випромінювання. Література: базова - [1], стор. 17-22; [2] Пр. 1, сл. № 19-23; [~~6~~3], стор. 276 - 280 Завдання на СРС: Навести етапи взаємодії, які характерні для високих рівнів інтенсивності (більше, ніж 10^6 Вт/см^2). Відбиття та поглинання променевої енергії поверхнею заготовки. Чим визначається рівень коефіцієнту поглинання? Закон поглинання Бугера: об'ємний та поверхневий характер поглинання та зв'язаний з цим вид руйнування матеріалу за рахунок його перегріву. Які з трьох видів нагріву матеріалу пучком лазерного випромінювання можна використовувати для розмірного формоутворення? Вибрати та обгрунтувати тип лазера, випромінювання якого може бути ефективно використано для якісної обробки отворів ∅0,05 мм глибиною 1 мм у заготовки з конструкційній кераміці 22ХС. На внутрішній поверхні отвору не допускається шар застиглого розплаву. Порівняння провести з використанням рівнів нормованого коефіцієнту поглинання В (для кераміки: k = 0,09 кал/(см.с.град), $c_р$ = 0,37 кал/(г.град), $T_и$ = 3500 ^{0}C, $L_и$ = 2,6.10^3 кал/г, $\alpha_{\lambda=1,06}$ = 30 см$^{-1}$, $\alpha_{\lambda=10,6}$ = 10^4 см$^{-1}$). Література: додаткова [1]
~~32~~	***Тема 2.3.*** **Шляхи керування** результатами лазерного опромінення: від нагрівання поверхні заготовки до реалізації керованого термоядерного синтезу~~**Шляхи керування результатами лазерного опромінення. Залежність показників операції від учасників технологічної операції**~~ Аналіз керованості розмірними та якісними характеристиками результатів обробки. Література: базова - [1], стор. 24-26; [2], Пр. 2, сл. .№ 3-5, [3] стор. 254 - 277 Завдання на СРС: Навести можливості ЛРО відносно показників обробки отворів (лунок). Які параметри заготівки повинні бути враховані при проектування технологічної операції ЛРО. Які шляхи керування технологічною операцією необхідно використовувати для виконання ТЗ на операцію. Література: базова ~~додаткова~~ [~~1~~3], додаткова [1]
	Розділ 3. Умови та алгоритм проектування технологічної операції ЛРО
~~4~~3	***Тема 3.1.*** ***Умови та обставини*** *проектування технологічної операції ЛРО, виходячи із робочого креслення виробу або ТЗ на його виготовлення*~~**Обставини та умови проектування**~~ ~~Методи керування поперечної та повздовжньої формою порожнини під час лазерної обробки~~
~~5~~	***Тема 3.2.*** ***Алгоритм*** *проектування технологічної операції ЛРО*~~**Алгоритм проектування технологічної операції ЛРО**~~. Формування та перетворення каустики пучка випромінювання в резонаторі та оптичними елементами (лінзами). Глибина різкості оптичної системи. Література: базова – [1], стор. 30-35; [2], Пр. 2, сл. № 14-25, ~~[3], стор.~~ Завдання на СРС: Технологічні схеми формування отворів пучком лазерного випромінювання. В яких умовах ефективна та чи інша схема? Які засоби концентрації променистої енергії використовуються у цих схемах. Формування пучка випромінювання у резонаторі, його перетворення тонкою сферичною лінзою. Глибина різкості оптичної системи, її вплив на повздовжній профіль отвору: за якої умови можна обробити циліндричний отвір? Література: додаткова [3]
	Розділ 4. Технологічні схеми обробки порожнин (отворів, лунок, щілин, пазів) ~~**Розділ 4. *Технологічні схеми обробки порожнин (отворів, щілин, пазів) різноманітної форми та розмірів***~~

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт

отформатировано: Шрифт: 12 пт, полужирный, не курсив

Отформатировано: Отступ: Слева: 0,1 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт

отформатировано: Шрифт: полужирный

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

отформатировано: Шрифт: 12 пт, не курсив

отформатировано: Шрифт: полужирный

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

отформатировано: Шрифт: 12 пт, полужирный, не курсив

отформатировано: Шрифт: 12 пт, не курсив

Отформатировано: Отступ: Слева: 0,1 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0,1 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт

отформатировано: Шрифт: полужирный

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

отформатировано: Шрифт: 12 пт, полужирный, не курсив

отформатировано: Шрифт: 12 пт, не курсив

отформатировано: английский (США)

отформатировано: Шрифт: курсив

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0,1 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт

Форматированная таблица

отформатировано: Шрифт: полужирный

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

отформатировано: Шрифт: 12 пт, полужирный

отформатировано: Шрифт: 12 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0,1 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт

отформатировано: Шрифт: 12 пт, полужирный

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

отформатировано: Шрифт: 12 пт

отформатировано: Шрифт: 12 пт, полужирный

отформатировано: Шрифт: 12 пт

отформатировано: английский (США)

Отформатировано ...

64	***Тема 4.1.*** *Схеми опромінення та вид інструменту відповідно до форми та розмірів попереку елементу заготовки, що обробляється. Обробка в «ближній» та «дальній» зонах.* **4.1.1.** Засоби перетворення пучка лазерного випромінювання у **заготовку** обробляючого інструменту впливом на резонатор випромінювача **4.1.2**. Перетворення променю за межами резонатору для формування **інструменту** у вигляді каустики променя відповідних розмірів та форми. Завдання на СРС: Побудувати оптичну систему для формування пучка лазерного випромінювання складного поперечного профілю та концентрації його енергії на поверхню заготовки. Вибрати тип та накреслити оптичну схему для проекційній обробки вікна квадратної поперечної форми 50×50 мкм у плівці з хрому завтовшки 10 мкм на поверхні скляної пластинки. **4.1.3.** Особливості формування інструменту для формування прецизійних елементів некруглої форми мікро та нано розмірів. Завдання на СРС: Визначити шляхи керування умовами опромінення заготовки заданої товщини в операціях виготовлення точних мікро отворів або складного за формою попереку. Де треба розташовувати заготівку в каустиці лазерного променя? Дайте визначення «довжини Релея» та пов'яжить її з товщиною заготовки. Яким чином розповсюджується промінь з інтенсивністю > 10^{15} Вт/см^2 в прозорих діелектриках ? **4.1.4.** Особливості схеми обробки та формування інструменту для виготовлення елементів великих розмірів (>1 мм). ~~*Тема 4.1.* **Методи управління формою попереку порожнини**~~ ~~**Технологічні схеми формування розмірних елементів виробу**~~ ~~Обробка у «дальній» та «ближній» зоні. Проекційні схеми обробки: розрахунок параметрів проекційної системи, габаритний розрахунок. Приклади обробки у дальній зоні.~~ Література: базова – [1], стор. 36-42; [2], Пр. 3, сл. № 2-17, додаткова [1] Завдання на СРС: Обробка у "дальній" зоні: які отвори за поперечним зрізом можна обробити у "дальній" зоні. Вибрати, накреслити та розрахувати оптичну систему для обробки кільцевої порожнини ∅10 мм шириною 0,1 мм пучком випромінювання лазера на гранаті діаметром 10 мм та з кутовим розходженням 0,005 рад. Прийняти показник переломлення матеріалу оптичних елементів рівний 1.5. Проекційна схема обробки отворів складної форми у тонких заготовках. Побудувати оптичну систему для формування пучка лазерного випромінювання складного поперечного профілю та концентрації його енергії на поверхню заготовки. Вибрати тип та накреслити оптичну схему для проекційній обробки вікна квадратної поперечної форми 50×50 мкм у плівці з хрому завтовшки 10 мкм на поверхні скляної пластинки. Випромінювач на рубіні з довжиною хвилі $\lambda = 0.6943$ мкм, діаметром пучка 5 мм з кутом розходження 0,003 рад. Скласти схему активно-проекційної оптичної системи для використання з лазером на парах міді, який має коефіцієнт підсилення активного середовища $\alpha = 10^2$ см$^{-1}$. Література: додаткова [1]
74, 5, 6	***Тема 4.2****. Методи управління* ***поздовжньою формою****, оброблювальних елементів.* **4.2.1.** Залежність повздовжньої форми мікро порожнин від схеми опромінення, шляхи збільшення її глибини Завдання на СРС: Форми повздовжнього профілю отворів та лунок та вплив на нього параметрів опромінення. Формування циліндричної світлової трубки. Скласти оптичну схему для обробки циліндричного отвору діаметром ∅0,3 мм у заготовці товщиною 3 мм у циліндричній світловій трубці для таких параметрів пучка випромінювання: діаметр 10 мм, кут розходження 0,002 рад, λ = 1,06.10^{-3} мм. **4.2.2.** Схеми формоутворення глибоких отворів з малим попереком за рахунок використання явищ нелінійної оптики при обробці отворів з аспектною глибиною h/d >100~~Тема 4.2.* **Формування та перетворення каустики пучка випромінювання як інструменту***~~ ~~Проекційна схема обробки отворів складної форми у тонких заготовках~~. ~~Завдання на СРС: Побудувати оптичну систему для формування пучка лазерного випромінювання складного поперечного профілю та концентрації його енергії на поверхню заготовки. Вибрати тип та накреслити оптичну схему для проекційній обробки вікна квадратної поперечної форми 50×50 мкм у плівці з хрому завтовшки 10 мкм на поверхні скляної пластинки.~~ Завдання на СРС: Основи нелінійної оптики. Явище багато фотонного поглинання. Умови перетворення частоти променя (генерація 2, 3 ...гармоніки) Література: базова [3] стор. 259 – 267, додаткова – [1]
8	~~***Тема 4.3.*** **Схеми формоутворення глибоких отворів з малим попереком** за рахунок використання явищ нелінійної оптики при обробці отворів з аспектною глибиною h/d >100 Складності обробки глибоких отворів (l > 10 d) свердленням (механо обробка) пов'язані як з постачанням охолоджувальної рідини в зону обробки, так і з відведенням стружки через гвинтові канавки спірального свердла. Тому свердла для глибокого свердлення виготовляють плоскими та пустотілими. При променистій обробці (лазерна або електронно променева) труднощі пов'язані зі складністю створення на дні отвору, що обробляється, теплове джерело високої густини потужності W_p > 10^7 Вт/см^2 внаслідок явища дифракції, що надає повздовжньому профілю каустики променя форму гіперболоїда обертання з мінімальним розміром горловини у фокальній площині лінзи (об'єктиву) при нульовому значенні кута розбіжності променя θ. Способи подолання цих перешкод. Трансфокатори, Застосування високо інтенсивних променів. Завдання на СРС: Основи нелінійної оптики. Явище багато фотонного поглинання. Умови перетворення частоти променя (генерація 2, 3 ...гармоніки) Література базова [2]~~

Отформатировано: Отступ: Слева: 0,1 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт
отформатировано: Шрифт: 12 пт
отформатировано: Шрифт: 11 пт, не курсив
Отформатировано: Стиль2, Уровень 1, Поз.табуляции: нет в 0,05 см
отформатировано: Шрифт: 11 пт, полужирный, не курсив
отформатировано: Шрифт: 11 пт, не курсив
Отформатировано: Стиль2, Поз.табуляции: нет в 0 см
отформатировано: Шрифт: 11 пт, не курсив
отформатировано: Шрифт: 11 пт
отформатировано: Шрифт: 11 пт, не курсив
Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт
отформатировано: английский (США)
Отформатировано: интервал Перед: 0 пт
отформатировано: Шрифт: 12 пт
отформатировано: Шрифт: 12 пт, полужирный
отформатировано: Шрифт: 12 пт
Отформатировано: Отступ: Слева: -0,2 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт
отформатировано: английский (США)
отформатировано: Шрифт: 11 пт, не курсив
Отформатировано ...
отформатировано: Шрифт: 11 пт
Отформатировано ...
отформатировано: Шрифт: 11 пт, украинский
отформатировано: украинский
отформатировано: Шрифт: 11 пт, украинский
отформатировано: Шрифт: 11 пт
отформатировано: Шрифт: 11 пт, украинский
отформатировано: Шрифт: 11 пт
отформатировано: Шрифт: 11 пт, украинский
отформатировано: Шрифт: 11 пт, украинский
отформатировано: Шрифт: 11 пт, украинский
отформатировано: Шрифт: 11 пт, украинский
отформатировано: Шрифт: 11 пт, украинский
отформатировано: Шрифт: 11 пт
отформатировано: Шрифт: 11 пт, не курсив
Отформатировано ...
отформатировано: Шрифт: 11 пт, не курсив
Отформатировано ...
Отформатировано ...

8	~~*Тема 4.4.* **Схеми обробки точних мікро отворів .**~~ ~~Мікро отвори найчастіше використовують для керування дозами рідини або газу в медичних системах, в авіаприладах для автоматизації роботи виконавчих елементів системи та інформативного їх забезпечення. При цьому часто нормується не його розмір, а пропускна здатність. Тому при їх виготовленні потрібно автоматизувати процес обробки з нормованою витратою газу (повітря) через отвір. Не завжди при виконанні технічного завдання та його впровадження у виробництві відсутнє технологічне обладнання, яке здатне досягти відповідних результатів. Чи є можливість модернізувати те обладнання, яке є, для використання в розробленій операції? Тут є шляхи виконання замовлення.~~ ~~Завдання на СРС: Визначити шляхи керування умовами опромінення заготовки заданої товщини в операціях виготовлення точних мікро отворів або складного за формою попереку. Де треба розташовувати заготівку в каустиці лазерного променя? Дайте визначення «довжини Релея» та пов'яжить її з товщиною заготовки. Яким чином розповсюджується промінь з інтенсивністю > 10^{15} Вт/см^2 в прозорих діелектриках ?~~ ~~Література базова [1]~~ ~~Література додаткова [1]~~
9	~~*Тема 4.5.* **Методи управління повздовжньою формою порожнини**~~ ~~Методи керування повздовжнім профілем порожнини. Ненаскрізні та наскрізні порожнини. Циліндрична світлова трубка (ЦСТ).~~ ~~Література: базова – [1], стор. 43-50; [2], Пр. 3, сл. № 21-25~~ ~~Шляхи незалежного керування повздовжньою формою оброблюємого елементу виробу.~~ ~~Література: базова – [1], стор. 43-53; [2], Пр. 3, сл. № 21-25~~ ~~Завдання на СРС: Форми подовжнього профілю отворів та лунок та вплив на нього параметрів опромінення. Формування циліндричної світлової трубки. Скласти оптичну схему для обробки циліндричного отвору діаметром ∅0,3 мм у заготовці товщиною 3 мм у циліндричній світловій трубці для таких параметрів пучка випромінювання: діаметр 10 мм, кут розходження 0,002 рад, λ = 1,06.10^{-3} мм.~~
Розділ 5. ***Методи визначення та реалізації режиму лазерної обробки порожнини*** ~~**Розділ 5.** ***Методи визначення режиму лазерної обробки порожнини***~~	
~~10~~7, 8	***Тема 5.1.*** *Історична довідка про авторів та їх розробок у царині визначення закономірностей та шляхів впливу на кількісні результати ЛРО* ***Тема 5.2.*** *Прогнозування результатів обробки за аналітичними моделями. Оцінка достовірності прогнозування* ~~*Тема 5.1.* **Прогнозування результатів обробки за аналітичними моделями**~~ Методи прогнозування результатів лазерної розмірної обробки. Особливості аналітичного та експериментального методів проектування. Методика розробки аналітичних (функціональних) моделей процесу лазерної обробки; теплові концепції формоутворення порожнин. Феноменологічна модель. Обмеження в використання аналітичних моделей. Література: базова – [1], стор. 53-62; [2], Пр. 4, сл. № 2-11 Завдання на СРС: Порівняльні характеристики розрахункових результатів прогнозування операцій обробки отворів за аналітичними моделями, причини недостатньої точності розрахунків. Розрахувати результати обробки заготовки із сталі 18Х2Н4ВА ($L_и$ = 8100 кДж/кг, ρ = 7,8.10^{-3} кг/см^3, k = 0,3 Вт/(см.град), c = 0,6 кДж/(кг.град), c'= 0,52 кДж/(кг.град), a = 0,07 см^2/с, $T_и$ = 3010^{0}С, $T_{пл}$ = 1520^{0}С, A = 0,67) за таких умов опромінювання: E = 5 Дж, τ = 500 мкс, d_0 = 10^{-2} см, D = 1,6 см, F = 10 см, ΔF = 0. Порівняти між собою одержані результати та оцінити їх з позицій точності передвіщення. Література додаткова [3]
~~11~~8, 9	***Тема 5.3****. Проектування режимів ЛРО за аналітичними моделями, отриманими приближеним рішенням рівняння теплопровідності твердих тіл.* Завдання на СРС: Визначити направлення спрощення рішення рівняння теплопровідності для аналітичного його перетворення при розробці розрахункових моделей для проектування режимів обробки у металевих заготовках. Чим відрізняються схеми опромінення отворів з низькими вимогами до точності їх розмірів, але з підвищеною продуктивністю від тих, що більш точні? Література додаткова [3].~~*Тема 5.2.* **Проектування режимів ЛРО за аналітичними моделями**~~ ~~Розрахунок режимів обробки квазістаціонарним імпульсом: схема формування лунки; вихідна теплова модель; часткові рішення для задача формування неглибоких порожнин, для глибоких отворів, для глибоких циліндричних отворів, для глибоких циліндричних отворів у заготовках із теплопровідних матеріалів.~~ ~~Метод обробки порожнин пучками випромінювання в частотно-імпульсному режимі. Схема формування лунки.~~ ~~Література: базова – [1], стор. 63-71; [2], Пр. 4, сл. № 12-19~~ ~~Завдання на СРС: Розрахункові моделі проектування режимів лазерної обробки отворів із підвищеною якістю результатів (за Steffen'ом). За рахунок яких допущень досягнуто аналітичне рішення рівняння теплопровідності нагріву заготовки лазерним опромінюванням. Чим відрізняються режими обробки ""гладким" імпульсом отворів у тонких заготовок, глибоких отворів, отворів циліндричної повздовжньої форми, та отворів у теплопровідних матеріалах?~~ ~~Визначити режими обробки лунки діаметром 10^{-2} см та глибиною 0,05 см у заготовці із латуні ЛС59 ($L_и$ = 5,1 кДж/кг, $T_и$ = 2500^{0}С, $T_{пл}$ = 1230^{0}С, k = 1,17 Вт/(см.град), a = 0,34 см^2/с, ρ = 6,2.10^{-3} кг/см^3) одним імпульсом вільної генерації (ВГ), який можна прийняти як "квазістаціонарний" при інтенсивності опромінювання I ≤ 10^8 Вт/см^2. Що зміниться у режимах опромінювання, якщо виконати вимогу формування отвору циліндричної форми?~~

отформатировано: Шрифт: полужирный

Отформатировано: Отступ: Слева: 0,1 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0,1 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: -0,4 см, Выступ: 0,2 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт

отформатировано: Шрифт: 12 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

отформатировано: Шрифт: 12 пт

отформатировано: Шрифт: 11 пт

Отформатировано: интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: -0,2 см, Первая строка: 0,05 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт

отформатировано: Шрифт: 12 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

отформатировано: Шрифт: 11 пт

~~119-~~ 14	***Тема 5.4.*** *Експериментальні дослідження та моделювання операцій ЛРО.* Експериментальні методи вибору режимів обробки: одно факторні методи досліджень процесу; методика активного багатофакторного експерименту для визначення режимів лазерної обробки. Класифікація факторів за керованістю та мінливістю. Огляд методів ранжування керуємих факторів. Література: базова – [1], стор. 75-83; [2], Пр. 5, сл. №2-8 Завдання на СРС: Методика однофакторних експериментальних досліджень процесу лазерної обробки отворів. Навести (у якісному поданні) результати впливу параметрів пучка випромінювання та умов обробки на розміри отворів (діаметр та глибину). Основні висновки по результатах одно факторних досліджень: можливість вибору режимів обробки та керування процесом. Дані математичного моделювання процесу за цими результатами: їх прийнятність для проектування операцій. Визначити за графіками експериментальних одно факторних досліджень режими обробки отворів діаметром 0,3 мм та глибиною 1,5 мм у заготовці із сталі 45 за умов одно імпульсного та багато імпульсного опромінювання. Чи можливо рішення багато критеріальних задач за допомогою цих даних. ***5.4.1.*** *Проектування режимів ЛРО. Одно критеріальні задачі.* Класифікація факторів за керованістю та мінливістю. Огляд методів ранжування керуємих факторів. Аналіз значності впливу факторів процесу на розмірні результати обробки. Методика, експериментальні плани, ранжировочні ряди керуємих факторів по їх впливу на поперечну та повздовжню форму порожнини, на точність обробки. Література: базова – [1], стор. 83-114, 39-51; [2], Пр. 5, сл. №9-17 ***5.4.2****. Проектування режимів ЛРО. Багато критеріальні задачі.* ~~***Тема 5.3. Дослідження та моделювання операцій ЛРО***~~ ~~**Експериментальні методи проектування операцій лазерної розмірної обробки**~~ **(1)** ~~Експериментальні методи вибору режимів обробки: одно факторні методи досліджень процесу; методика активного багатофакторного експерименту для визначення режимів лазерної обробки. Класифікація факторів за керованістю та мінливістю. Огляд методів ранжування керуємих факторів.~~ ~~Література: базова – [1], стор. 75-83; [2], Пр. 5, сл. №2-8~~ ~~Завдання на СРС: Методика однофакторних експериментальних досліджень процесу лазерної обробки отворів. Навести (у якісному поданні) результати впливу параметрів пучка випромінювання та умов обробки на розміри отворів (діаметр та глибину). Основні висновки по результатах одно факторних досліджень: можливість вибору режимів обробки та керування процесом. Дані математичного моделювання процесу за цими результатами: їх прийнятність для проектування операцій.~~ ~~Визначити за графіками експериментальних одно факторних досліджень режими обробки отворів діаметром 0,3 мм та глибиною 1,5 мм у заготовці із сталі 45 за умов одно імпульсного та багато імпульсного опромінювання. Чи можливо рішення багато критеріальних задач за допомогою цих даних.~~ Література додаткова [3] стор 697 - 710 Завдання на СРС: Обгрунтувати необхідність багато факторної методики досліджень процесів лазерної розмірної обробки, як єдиної в умовах складної взаємодії багатьох фізичних та хімічних явищ у зоні опромінювання. Етапи досліджень в умовах значущого діяння великої кількості факторів. Експериментальні плани, які ефективні з економічних та часових міркувань на етапі передпланування експериментів. Умови використання компромісних планів Бродського, методика їх побудови для одержання моделі процесу з визначеним складом. Логічне обгрунтування набору факторів, які включаються до постульованої моделі процесу. Скласти план експерименту на етапі передпланування для таких умов: - насичений план типу ДФЕ для оцінки ефективності лише лінійних членів для трьох факторів: енергії, кута розходження та фокусної відстані фокусуючої системи; - компромісний план для моделі другого порядку за умови значущої дії лінійних, квадратичних та парних ефектів усіх факторів з першим: $$\mathbf{y} = \mathbf{a}_0 + \sum_{i=1}^{n} \mathbf{a}_i \mathbf{x}_i + \sum_{i=1}^{n} \mathbf{a}_{ii} \mathbf{x}_i^{\,2} + \sum_{i=2}^{n} \mathbf{a}_{1i} \mathbf{x}_1 \mathbf{x}_i ,$$ де: x_1 – енергія випромінювання, x_2 – тривалість імпульсу, x_3 – кут розходження пучка випромінювання. Ранжировочний ряд впливу керуємих факторів на розмірні показники процесу лазерної обробки отворів: діаметр та глибину для ненаскрізних отворів та діаметр вхідної та вихідної частин – для наскрізних отворів. Література: базова – [1], стор. 75-83; [2], Пр. 5, сл. №2-8 Завдання на СРС: Формування узагальненого показника відхилення дійсної повздовжньої форми отворів від заданої для його використання з метою пошуку оптимального режиму обробки. Ранжировочний ряд впливу керуємих факторів процесу на узагальнений показник якості форми. Розрахувати коефіцієнт варіації розмірів отворів після лазерної обробки, якщо поле розсіяння їх діаметрів не перевищує поле допуску 9 квалітету, а номінальний розмір – 0,08 мм. Література додаткова Завдання на СРС: Чому багатокритеріальність задач проектування технологічних операцій лазерної обробки спонукає до використання експериментальних методів оптимізації? Шляхи подолання багатокритеріальності для спрощення оптимізаційних задач. Поняття узагальненої

Отформатировано: Отступ: Слева: 0,1 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт

отформатировано: Шрифт: 12 пт

отформатировано: Шрифт: 10 пт

отформатировано: Шрифт: 11 пт

Отформатировано: Обычный, Поз.табуляции: 0,5 см, по левому краю + 1 см, по левому краю

отформатировано: Шрифт: 11 пт, не курсив, Цвет шрифта: Авто

отформатировано: Шрифт: 11 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Код поля изменен

Отформатировано: Обычный, Поз.табуляции: 0,5 см, по левому краю + 1 см, по левому краю + 11,38 см, по левому краю

отформатировано: Шрифт: 11 пт

Отформатировано: Обычный, Поз.табуляции: 0,5 см, по левому краю + 1 см, по левому краю + 11,38 см, по левому краю

	функції бажаності. Алгоритм експериментального методу оптимізації з використанням функцій бажаності. Навести приклади формування цих функцій. Спроектувати технологічну операцію лазерної обробки отворів ∅0,4H12 конічної форми (з конусоподібністю 0,4 мм) у заготовках корпусів ін'єкційних голок завтовшки 3 мм. Тривалість операції не повинна перевищувати 25 с. Матеріал заготовки - латунь ЛС59 ($L_{и}$ = 5,1 кДж/кг, $T_{и}$ = 2500 ^{0}C, $T_{пл}$ = 1230 ^{0}C, k = 1,17 Вт/(см. град), a = 0,34 см^2/с, ρ = 6,2.10^{-3} кг/см^3). Використати дані експериментальних досліджень по моделюванню процесу обробки таких отворів. Література додаткова [3] стор. 696 - 717
12	*Тема 5.3.* **Дослідження та моделювання операцій ЛРО (подовження)** **Експериментальні методи проектування операцій лазерної розмірної обробки (1)** Експериментальні методи вибору режимів обробки: одно факторні методи досліджень процесу; методика активного багатофакторного експерименту для визначення режимів лазерної обробки. Класифікація факторів за керованістю та мінливістю. Огляд методів рангування керуємих факторів. Аналіз значності впливу факторів процесу на розмірні результати обробки. Методика, експериментальні плани, ранжировочні ряди керуємих факторів по їх впливу на поперечну та повздовжню форму порожнини, на точність обробки. Література: базова – [1], стор. 83-114, 39-51; [2], Пр. 5, сл. №9-17 Завдання на СРС: Обгрунтувати необхідність багато факторної методики досліджень процесів лазерної розмірної обробки, як єдиної в умовах складної взаємодії багатьох фізичних та хімічних явищ у зоні опромінювання. Етапи досліджень в умовах значущого діяння великої кількості факторів. Експериментальні плани, які ефективні з економічних та часових міркувань на етапі передпланування експериментів. Умови використання компромісних планів Бродського, методика їх побудови для одержання моделі процесу з визначеним складом. Логічне обгрунтування набору факторів, які включаються до постульованої моделі процесу. Скласти план експерименту на етапі передпланування для таких умов: - насичений план типу ДФЕ для оцінки ефективності лише лінійних членів для трьох факторів: енергії, кута розходження та фокусної відстані фокусуючої системи; - компромісний план для моделі другого порядку за умови значущої дії лінійних, квадратичних та парних ефектів усіх факторів з першим: $$y = a_0 + \sum_{i=1}^{n} a_i x_i + \sum_{i=1}^{n} a_{ii} x_i^2 + \sum_{i=2}^{n} a_{1i} x_1 x_i,$$ де: x_1 – енергія випромінювання, x_2 – тривалість імпульсу, x_3 – кут розходження пучка випромінювання. Ранжировочний ряд впливу керуємих факторів на розмірні показники процесу лазерної обробки отворів: діаметр та глибину для ненаскрізних отворів та діаметр вхідної та вихідної частин – для наскрізних отворів. Література: базова – [1], стор. 75-83; [2], Пр. 5, сл. №2-8 Завдання на СРС: Методика однофакторних експериментальних досліджень процесу лазерної обробки отворів. Навести (у якісному поданні) результати впливу параметрів пучка випромінювання та умов обробки на розміри отворів (діаметр та глибину). Основні висновки по результатах одно факторних досліджень: можливість вибору режимів обробки та керування процесом. Дані математичного моделювання процесу за цими результатами: їх прийнятність для проектування операцій. Визначити за графіками експериментальних одно факторних досліджень режими обробки отворів діаметром 0,3 мм та глибиною 1,5 мм у заготовці із сталі 45 за умов одно імпульсного та багато імпульсного опромінювання. Чи можливо рішення багато критеріальних задач за допомогою цих даних. Література додаткова [3]
13	*Тема 5.3.* **Дослідження та моделювання операцій ЛРО (подовження)** **Експериментальні методи проектування операцій лазерної розмірної обробки (3)** Якість результатів обробки; врахування під час проектування режимів вимог до відтворюваності результатів, якості поверхні, стану прилеглого до поверхні шару матеріалу. Вимоги до кутових та просторових характеристик пучка випромінювання. Література: базова – [1], стор. 135-145; [2], Пр. 6, сл. №17-21 Завдання на СРС: Показники якості отворів після лазерної обробки. Якою величиною зручно та інформативно описувати нестабільність розмірів отворів в умовах дрейфу рівня настройки? Ранжировочний ряд факторів процесу по їх впливу на показник відтворюваності розмірів отворів. Приклад проектування операції виготовлення серії наскрізних отворів з нормованою точністю розмірів з використанням математичної моделі процесу обробки. Література додаткова [3]
14	*Тема 5.4.* **Проектування режимів ЛРО. Одно критеріальні задачі** **Практика використання експериментального проектування** Приклад проектування операції для лазерної розмірної обробки отворів заданого розміру. Література: базова - [1], стор. 93-100, 26-27, 41-44, 48-51, 56-57; [2], Пр. 6, сл. № 2-10 Завдання на СРС: Скласти набір (з трьох) факторів, які найбільш значуще впливають на: - розміри ненаскрізних отворів; - розміри наскрізного отвору. Привести приклад повно факторного плану для цих факторів, визначити необхідну кількість експериментальних точок. На яких рівнях треба фіксувати залишки значущих факторів для одержання найменших по розмірам отворів. Література додаткова

Отформатировано: Отступ: Слева: 0,1 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Первая строка: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0,1 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0,1 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Первая строка: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: интервал Перед: 0 пт

15 *Тема 5.4.* **Проектування режимів ЛРО. Одно критеріальні задачі** (подовження).
Приклад проектування операції обробки профільних отворів.
Приклад вибору режимів обробки порожнин з заданою точністю. Проектування операцій з урахуванням вимог до якості поперечної та повздовжньої форми порожнин. Можливість виготовлення порожнин із заданими відхиленнями повздовжнього профілю.
Література: базова - [1], стор. 100-118; [2], Пр. 6, ел. № 10-16
Завдання на СРС: Формування узагальненого показника відхилення дійсної повздовжньої форми отворів від заданої для його використання з метою пошуку оптимального режиму обробки. Ранжировочний ряд впливу керуємих факторів процесу на узагальнений показник якості форми.
Розрахувати коефіцієнт варіації розмірів отворів після лазерної обробки, якщо поле розсіяння їх діаметрів не перевищує поле допуску 9 квалітету, а номінальний розмір – 0,08 мм.
Література додаткова

16 17 18 *Тема 5.5.* **Проектування режимів ЛРО. Багато критеріальні задачі**
Оптимізація операцій лазерної розмірної обробки.
Узагальнена функція бажаності. Приклад оптимізації операції лазерної обробки конічних отворів із заданою точністю та максимальною продуктивністю. Методи перетворення багатокритеріальних задач в однокрітеріальні (метод невизначених множників Лагранжа, штрафних функцій).
Література базова – [1], стор. 118-129; [2] Пр. 6, ел. № 10-16; Пр. 7; ел. № 2-18, Пр. 8, ел. №2-18
Завдання на СРС: Чому багатокритеріальність задач проектування технологічних операцій лазерної обробки спонукає до використання експериментальних методів оптимізації? Шляхи подолання багатокритеріальності для спрощення оптимізаційних задач. Поняття узагальненої функції бажаності. Алгоритм експериментального методу оптимізації з використанням функцій бажаності. Навести приклади формування цих функцій.
Спроектувати технологічну операцію лазерної обробки отворів ∅0,4H12 конічної форми (з конусоподібністю 0,4 мм) у заготовках корпусів ін'єкційних голок завтовшки 3 мм. Тривалість операції не повинна перевищувати 25 с. Матеріал заготовки - латунь ЛС59 ($L_п$ = 5,1 кДж/кг, $T_п$ = 2500 ^{0}C, $T_{кип}$ = 1230 ^{0}C, k = 1,17 Вт/(см.град), a = 0,34 см^2/с, ρ = 6,2.10^{-3} кг/см^3). Використати дані експериментальних досліджень по моделюванню процесу обробки таких отворів.
Література додаткова [3]

15-17 ***Тема 5.6. Шляхи параметричного керування режимом обробки.***
Аналіз конструкцій лазерних технологічних установок відомих у минулому виробників та сучасних показав, що, незважаючи на суттєві якісні зміни, насамперед, випромінювача, принцип управління режимом його роботи залишився незмінним – вплив на процес збудження активного середовища.
Для лазерів з імпульсним накачуванням управління зводиться до зміни рівня та частоти подачі енергії накачування до джерел збудження активного середовища (до лампи накачування або лінійок діодів – для твердотільних лазерів) або за рахунок зміни напруги або ємності накопичувача. Режим роботи лазерів з безперервним накачуванням змінюється впливом на розрядний струм через діоди або лампу накачування (твердотільні лазери) або газорозрядної камери (газові лазери). Для безперервного режиму генерації це призводить до одночасної зміни просторових характеристик пучка випромінювання (діаметра пучка, його модового складу та кута розбіжності).
Для ослаблення пучка зазвичай використовують поглинаючі (нейтральні) або дзеркальні світлофільтри (інтерференційні дзеркала), що забезпечують вибіркову дію на пучок випромінювання: просторові (кут розбіжності та поперечний розмір) та тимчасові його параметри залишаються практично незмінними.
Розроблена методика складається з таких процедур.
• проектування (модернізація) резонатора технологічного лазера (поєднання кривизни дзеркал та їх взаємного розташування) для формування пучка випромінювання із заданими просторовими характеристиками при використанні в ньому обраного активного середовища (з урахуванням його розмірів);
• модернізація формуючої лінії накачування (ФЛН) (ємності С та індуктивності L її розрядного контуру) для генерації імпульсу випромінювання заданої тривалості;
• експериментальне дослідження розробленого (модернізованого) випромінювача з метою побудови його експлуатаційних характеристик (імпульсної енергії, тривалості та кута розбіжності пучка випромінювання), подібних до залежностей рис. 2;
• вибір рівнів варіювання керованого параметра (енергії Е), визначення рівня енергії накачування (напруги Uн на обкладках ємності С), вище за який зміни тривалості, розміру та кута розбіжності пучка випромінювання незначні;
• підбір світлофільтрів для "грубого" зміни енергії випромінювання та рівня енергії накачування для "тонкого" її регулювання до необхідного рівня.
Завдання на СРС: Дайте фізичне пояснення одночасного впливу рівня та схеми збудження активного середовища лазера на енергетичні, часові та просторові характеристики променя. Яким технологічним оснащенням лазера можна частково реалізувати принцип параметричного керування властивостями променя?
Література додаткова – [4].

17 18 ***Тема 5.7. Нережимні методи підвищення якості ЛРО.***
Деякі показники якості операцій ЛРО мають складні зв'язки з керуючими факторами процесу обробки тому їх врахування як складову узагальненого показника іноді не дає можливості встановити режим обробки, задовольняючий усім вимогам до технологічної операції. Тому в деяких випадках складові такого класу виключаються із узагальненого показника або вимоги до них загрубляються, а задовольняння вимог до них перекладаються на додаткові впливи на процес обробки спеціальним и методами.

Отформатировано: Отступ: Слева: 0,1 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт
Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт
Отформатировано: интервал Перед: 0 пт
Отформатировано: Отступ: Слева: 0,1 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт
Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт
Отформатировано: интервал Перед: 0 пт
отформатировано: Шрифт: полужирный
Отформатировано: Отступ: Слева: -0,2 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт
Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, Первая строка: 0 см, интервал Перед: 0 пт, после: 0 пт, междустрочный, множитель 0,8 ин
Отформатировано: Отступ: Слева: 0,1 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт
Отформатировано: Основной текст, междустрочный, множитель 0,8 ин
отформатировано: Шрифт: 11 пт
Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт
отформатировано: Шрифт: 11 пт
отформатировано: Шрифт: 11 пт
Отформатировано: Обычный, междустрочный, множитель 0,8 ин
отформатировано: Шрифт: не курсив
Отформатировано: Отступ: Слева: 0,1 см, Справа: -0,1 см, интервал Перед: 0 пт
отформатировано: Шрифт: полужирный
Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт
отформатировано: Шрифт: не полужирный

	Завдання на СРС: Які, на Вашу думку, показники технологічних операцій найбільш важко піддаються керуванню їх рівнем, впливаючи на режим обробки (умови опромінення)? Створити перелік каналів впливу на ті показники, що не досягаються зміною режиму обробки та запропонуйте засоби для їх реалізації (краще у вигляді ескізу). Література базова Література додаткова [2, 3]

5.2. *Практичні заняття*

Основні завдання циклу практичних занять

Цикл практичних занять має ціллю закріплення головних тем освітнього компоненту, які засвоєно теоретично. В зв'язку з тим, що головним його завданням є надання знань і умінь вибору ефективного методу обробки, вдалої технологічної схеми операції та визначення необхідного за призначенням її технологічного оснащення.

Іншим завданням занять є надбання уміння захисту розробок, для чого найбільш вдалі та працездатні рішення, які створені студентами, підвергаються аналізу на патентну чистоту з метою оформлення заявки у відповідну інстанцію для оформлення документу інтелектуальної власності (патенту на винахід або корисну модель).

Таблиця 3. Теми практичних занять

№ ~~з/п~~зан.	Назва теми заняття
1	Аналіз можливостей ~~електро-фізико-хімічних~~фізико-технічних методів обробки матеріалів (~~ЕФХМОМ~~ФТМО). Апріорні області використання кожного з них, межи їх розмірних, якісних та інших можливостей. Порівняння з можливостями операцій лазерної обробки.
1	Етапи діяння лазерного променя на матеріал заготовки. Вплив на результати лазерного опромінення. Залежність виду діяння від теплофізичних властивостей матеріалу заготовки.
2	Обставини, умови та порядок проектування операцій лазерної розмірної обробки. Алгоритм проектування технологічної операції ЛРО.
2	Технологічні схеми операцій лазерної розмірної обробки мікро елементів заготовки (лунки, отвори, пази та щілини).
3	Засоби формування оброблювального інструменту із лазерного променя. Етапи резонаторного та поза резонаторного підготовлення лазерного променя для його перетворення. Оптичні елементи для перетворення променя в інструмент. Каустика лазерного променя
3	Технологічні схеми операцій формування отворів методом трепанації тіла заготовки. Схеми формоутворення глибоких отворів з малим попереком
4	Схеми обробки точних та отворів складного профілю в тонких заготовках, нано технології. Методи управління повздовжньою формою порожнини.
5	Використання аналітичних моделей формоутворення отворів лазерним променем для прогнозування результатів технологічних операцій. Порівняння результатів від різних моделей
5	Дослідження та моделювання операцій ЛРО.
6	Проектування режимів формування отворів в металевих виробах за приближеними рішеннями рівняння теплопровідності. Передумови їх використання.
6	Проектування режимів ЛРО. Одно критеріальні задачі Моделювання процесу обробки розмірних елементів за планами ПФЕ. Рангові діаграми для показників технологічних операцій.
7	Проектування режимів технологічних операцій при їх оцінці за багатьма критеріями.
8	Шляхи параметричного керування режимом обробки
9	Нережимні методи підвищення якості ЛРО
* Література додаткова [1 - ~~4~~44]	

5.3. *Лабораторні заняття*

Основні завдання циклу лабораторних занять.

Цикл лабораторних робіт має ціллю практичного закріплення головних тем освітнього компоненту, які вивчено теоретично. В зв'язку з тим, що його головним завданням є надання знань та

отформатировано: Шрифт: не курсив

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

отформатировано: Шрифт: не курсив

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: многоуровневый + Уровень: 1 + Стиль нумерации: 1, 2, 3, … + Начать с: 5 + Выравнивание: слева + Выровнять по: 0 см + Табуляция после: 0,63 см + Отступ: 0,63 см

Отформатировано: интервал Перед: 18 пт

умінь прогнозування результатів та проектування технологічної операції, то всі лабораторні роботи пов'язано з цією діяльністю фахівця.

Таблиця 4. Перелік лабораторних робіт

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд. годин
1	Прогнозування результатів технологічної операції та проектування режимів лазерної розмірної обробки за аналітичними методами, оцінка якості проектування. Навчальний посібник 1 до роботи~~до роботи № 1:~~ https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode= ~~http://ltft.kpi.ua/ua/~~	8
2	Проектування режимів лазерної розмірної обробки експериментальними методами. Навчальний посібник 1 до роботи: ~~№ 2~~ http://ltft.kpi.ua~~/ua/~~ https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=	8
3	~~Оформлення результатів експериментів, обробка фактичного матеріалу, висновки про якість аналітичних прогнозних моделей процесу ЛРО, захист робіт~~Параметричне керування режимом лазерного опромінювання Додаткова література [4]: https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=254738	2

6. Самостійна робота

~~6.~~

Самостійна робота (48 год) студента полягає у підготовці до лекційних (9 год.), практичних (9 год.) і лабораторних занять (10 год.) шляхом опрацювання рекомендованої літератури і підготовці відповідей на контрольні запитання для лекцій і лабораторних занять, виконання розрахунково-графічної роботи (10), а також у підготовці до заліку (10 год.).

№ з~~/пан~~	Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання та посилання на навчальну літературу	Кількість годин СРС
1	***Тема 1.1.*** *Порівняння технологічних та техніко-економічних показників, виявлення переваг та недоліків лазерної розмірної обробки (ЛРО)*: - можливості створення комбінованого або гібридного інструментів на базі лазерного променя та більш дешевих засобів (енергетичних полів, газових струменів, потоків, тощо) Література: базова - [1] додаткова – [1 - 4]	1
2	***Тема 2.1.*** *Етапи діяння лазерного променя на заготовку*: - шляхи підвищення ефективності використання променистої енергії на усіх етапах її перетворення та використання. Література: додаткова – [1] ***Тема 2.2.*** *Види впливу опромінення на матеріал заготовки*: - вплив фазового стану матеріалу заготовки в зоні опромінення на кількісні та якісні показники технологічної операції, оптимізація стану матеріалу. Література: додаткова – [1, 2] ***Тема 2.3.*** *Шляхи керування результатами лазерного опромінення*: - параметричне керування пучком лазерного випромінювання резонаторними та поза резонаторними засобами Література: базова – [1] Література додаткова [3]	1 1 1

отформатировано
Отформатировано
отформатировано
Отформатировано
отформатировано
отформатировано
Код поля изменен
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
отформатировано
Отформатировано
отформатировано
отформатировано
Код поля изменен
отформатировано
Код поля изменен
отформатировано
отформатировано
Отформатировано
отформатировано
отформатировано
Отформатировано
Отформатировано
Добавлено примечание ([T2]): розпишіть скільки
Отформатировано
отформатировано
Отформатировано
Отформатировано
Отформатировано
Отформатировано
Отформатировано
Отформатировано
Отформатировано
Отформатировано
Отформатировано

3	***Тема 3.1.*** *Обставини та умови проектування технологічної операції ЛРО*: - шляхи поширення корисної інформації на базі даних креслення виробу або Технічного Завдання (ТЗ) на проектування технологічної операції. Література: базова – [2] ***Тема 3.2.*** *Алгоритм проектування технологічної операції ЛРО*: - оцінити кількісно на вільному матеріалі (метал, діелектрик) вагову складову теплофізичних його параметрів на темп нагрівання заготовки лазерним променем; - скласти перелік необхідних діянь на процес лазерної розмірної обробки з метою оптимізації фази нагрівання матеріалу в зоні опромінення Література: додаткова - [3]	1 1 1
4	***Тема 4.1.*** *Методи управління формою попереку порожнини*: - оцінити на конкретних прикладах техніко-економічні показники операцій обробки в дальній та ближній зонах. Література: додаткова – [2] ***Тема 4.2.*** *Формування та перетворення каустики пучка випромінювання*: - характеристики якості лазерного променя BPP, M^2 та шляхи їх покращення впливом на параметри резонатору Література: додаткова – [1] ***Тема 4.3.*** *Схеми формоутворення глибоких отворів з малим попереком*: - ознайомитися із закономірностями перетворення пучка лазерного випромінювання системою лінз (об'єктивами); Література базова [1] Література додаткова [2] ***Тема*** *4.4. Схеми обробки точних мікро отворів складного профілю*: - доказати можливості компенсації хроматичної аберації об'єктивами із системою лінз, виготовлених із різних за оптичною густиною матеріалів (ахроматами); Література додаткова [2] *4.5. Методи управління повздовжньою формою порожнини*: - описати технологічний принцип обробки надглибоких отворів (l/d > 12); в режимі газолазерної обробки або над короткими імпульсами - описати технологічний принцип обробки мікро отворів мікро імпульсами (пічками мкс тривалості) (d < 5 мкм). Література: додаткова [2]	1 1 1 1 1 1
5	***Тема 5.1.*** *Прогнозування результатів обробки за аналітичними моделями*: - особливості аналітичного та експериментального методів проектування; методика розробки аналітичних (функціональних) моделей процесу лазерної обробки; теплові концепції формоутворення порожнин; феноменологічні моделі: прогнозування результатів обробки в використанням аналітичних моделей. Література базова [1], [2], додаткова [1] ***Тема 5.2.*** *Проектування режимів ЛРО за аналітичними моделями*: - аналітичне рішення рівняння теплопровідності із спрощеннями **J. Steffen'**а, прослідити етапи та результати змінення рівняння. ***Тема 5.3****. Дослідження та моделювання операцій ЛРО*: - експериментальні методи вибору режимів обробки: одно факторні методи досліджень процесу; методика активного багатофакторного експерименту для визначення режимів лазерної обробки. Класифікація факторів за керованістю та мінливістю. Огляд методів ранжування керуємих факторів. Література: додаткова - [1]] ***Тема 5.4.*** *Проектування режимів ЛРО. Одно критеріальні задачі*:	1 3 2

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Первая строка: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Первая строка: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Первая строка: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Первая строка: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Первая строка: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Первая строка: 0 см, интервал Перед: 0 пт, Поз.табуляции: нет в 1,14 см

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

	- аналіз значності впливу факторів процесу на розмірні результати обробки: методика, експериментальні плани, ранжировочні ряди керуємих факторів по їх впливу на поперечну та повздовжню форму порожнини, на точність обробки. Література: базова – [1], [2] ***Тема* 5.5.** *Проектування режимів ЛРО. Багато критеріальні задачі.* - порівняти оптимальні за різними критеріями оптимальності експериментальні плани з точки зору найшвидшого досягнення результату достатньої точності в умовах проектування режимів обробки; - виконати в межах співробітників кафедри експертну оцінку впливу керуємих факторів на точність отворів після лазерної обробки, побудувати рангову діаграму; - зробити аналіз якостей (переваг і недоліків) методів оптимізації багатокритеріальних технологічних задач. Література: базова – [1], [2],; додаткова - [1]	2 4 1 2

7. Політика викладання та засвоєння освітнього компоненту

Правила відвідування занять

Відвідування лекцій, практичних занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрового індивідуального завдання.

Для студентів, які беруть на себе відповідальність за організацію і планування свого часу для навчання, є можливість опановувати дисципліну у змішаному режимі: ознайомлення з теоретичним матеріалом лекцій і розв'язування практичних завдань – самостійно, за необхідності проведення консультацій викладачем згідно графіку консультацій і відведеного на них часу, у відповідності до педагогічного навантаження викладача. Лабораторні роботи виконуються у груповому режимі під керівництвом відповідального викладача.

Правила поведінки на заняттях.

Правила поведінки на заняттях регламентуються етичними нормами: всі учасники освітнього процесу в університеті повинні дотримуватись вимог чинного законодавства України, Статуту і Правил внутрішнього розпорядку НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», загальноприйнятих моральних принципів, підтримувати атмосферу доброзичливості, відповідальності, порядності й толерантності, дбайливо ставитися до університетського майна.
Під час аудиторних занять студенти повинні дотримуватись діючих правил охорони праці, безпеки життєдіяльності і правил пожежної безпеки, а в разі навчання за дистанційною формою виконувати вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я під час роботи з екранними пристроями.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів

Студенти зобов'язані дотримуватися термінів виконання усіх видів робіт, передбачених курсом.

Порушення термінів виконання певного виду робіт враховується згідно рейтингової системи оцінювання. **Під час дії воєнного стану штрафні бали не нараховуються.**

Пропущені контрольні заходи:

Якщо контрольні заходи пропущені з поважних причин (хвороба або вагомі життєві обставини), студенту надається можливість додатково скласти контрольне завдання протягом найближчого тижня. В разі порушення термінів виконання завдання з неповажних причин, студент не допускається до складання екзамену в основну сесію.

Добавлено примечание ([T3]): ВАЖЛИВО

Добавлено примечание ([T4]): Важливо!

Політика щодо академічної доброчесності докладно описана у Кодексі Честі КПІ ім. Ігоря Сікорського (*https://kpi.ua/code*) і передбачає повну відповідальність студента за те, що всі виконані ним завдання відповідають принципам академічної доброчесності.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання

Поточний контроль.

За темою лекційних занять, на практичних роботах проводяться **експрес опитування** за пройденими раніше темами, які спонукають кращому розумінню матеріалу, що викладається, та **опитування за темою** лекції або заняття.

Календарний контроль.

Для контролю поточного стану виконання вимог **силабусу** двічі на семестр за графіком навчального процесу Університету або Інституту проводяться модульні контрольні роботи, тема яких викладена в Додатку В до силабусу, а система оцінювання наведена в РСО освітнього компоненту.

Семестровий контроль.

В якості контролю знань, опанованих студентами за семестр викладання освітнього компоненту, навчальним планом передбачено складання заліку, умови допуску до якого та принцип оцінювання викладено в РСО освітнього компоненту.

Рейтингова система оцінювання результатів навчання студентів

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань освітнього компоненту згідно з робочим навчальним планом кредитного модуля.

Семестр	*Всього (кредит/годин)*	*Розподіл годин за видами занять*							*Кількість МКР*	*Вид інд. завд.*	*Семестрова атестація*
		Лекції	*Практичні заняття*	*Семінари*	*Лабораторні роботи*	*Комп' ютерний практикум*	*СРС*				
							Всього	*На виконання індивід. завдання*			
7	4.0/120	36	18	–	18	-	48	10	1	РГР	залік

1. Рейтинг студента з освітнього компоненту розраховується виходячи із 100-бальної шкали, з них **52 бали складає стартова шкала**. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що студент отримує за:
– роботу на практичних заняттях (**18 занять**);
– виконання лабораторних робіт (**3 роботи**);
– виконання розрахунково-графічної роботи (**1 робота**).
2. Критерії нарахування балів:
2.1. Робота на практичних заняттях:
– активна творча робота – **1 бали × 18 =18**;
– робота з позитивним результатом – **0,5 бал × 18 =9**;
– пасивна робота – **0 балів × 0**.
2.2. Виконання лабораторних робіт:
Лаб.робота № 1:
– бездоганна робота –**8 балів**;
– є певні недоліки у підготовці та/або виконанні роботи –6 **балів**;
– робота не виконана або не захищена –**0 балів**.
Лаб.робота № 2:
– бездоганна робота – **10 балів**;
– є певні недоліки у підготовці та/або виконанні роботи – **8 балів**;
– робота не виконана або не захищена –**0 балів**.

отформатировано: Основной шрифт абзаца, Шрифт: курсив
отформатировано: Шрифт: курсив
Отформатировано: интервал Перед: 0 пт
Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, Справа: 0 см, интервал Перед: 0 пт
Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт
Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт
отформатировано: Шрифт: 11 пт
Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт
отформатировано: Шрифт: 11 пт, русский
отформатировано: Шрифт: 11 пт
отформатировано: Шрифт: 11 пт, русский
отформатировано: Шрифт: 11 пт
отформатировано: Шрифт: 11 пт, русский
отформатировано: Шрифт: 11 пт
Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, Первая строка: 0 см, интервал Перед: 0 пт
Отформатировано: Обычный, Отступ: Слева: 0 см, Первая строка: 0 см, Поз.табуляции: 1 см, по левому краю

Лаб.робота № 3:
– бездоганна робота – **4 бали;**
– є певні недоліки у підготовці та/або виконанні роботи – **2 бала;**
– робота не виконана або не захищена –**0 балів.**

2.3. Виконання розрахунково-графічної роботи (РГР):
– творчо виконана робота – **12 балів;**
– роботу виконано з незначними недоліками – **8 балів;**
– роботу виконано з певними помилками – **5 балів;**
– роботу не зараховано (завдання не виконане або є грубі помилки) – **0 балів.**

–примітка: За кожний тиждень запізнення з поданням РГР на перевірку нараховується **штрафний** $r_{ш}$ **-1 бал** (усього **не більше –3 балів**).

3. Умовою **позитивної першої атестації** (на 8 тижні) є отримання не менше **11 балів** та виконання першої лабораторної роботи (на час атестації).

4. Умовою **позитивної другої атестації** (на 14 тижні) – отримання не менше **22 балів**, виконання першої лабораторної роботи та першого етапу другої роботи (на час атестації) за умови подання для контролю РГР.

5. Умовою допуску до заліку є зарахування всіх лабораторних робіт, РГР та стартовий рейтинг **не менше 26 балів.**

6. На заліку студенти повинні виконати *письмову контрольну роботу* або дати *усну відповідь*. Кожне завдання повинно утримувати два теоретичних запитання (завдання) і одне практичне. Кожне завдання складено з Переліку запитань до заліку з освітнього компоненту. Кожне запитання оцінюється **у 16 балів** за такими критеріями:

– «**відмінно**», повна відповідь, не менше **95%** потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – **16-15 балів;**

– **«дуже добре»** майже повна відповідь, не менше **85%** потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – **14-13 балів;**

– «**добре**», достатньо повна відповідь, не менше **75%** потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь або є незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – **12-11 балів;**

– «**задовільно**», неповна відповідь, не менше **65%** потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – **10-9 балів;**

– «**достатньо**», неповна відповідь, не менше **60%** потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – **8-7 балів;**

– «**незадовільно**», відповідь не відповідає умовам до «достатньо», менше **60% – 0 балів.**

7. Розрахунок шкали семестрового рейтингу:

$$r_C = \sum(r_{пр} + r_{лр} + r_{ргр}) = 18 + 22 + 12 = 52 \text{ бали}$$

$$RD = r_C + r_E = (r_{пр} + r_{лр} + r_{ргр}) + r_E = 100 \text{ балів}$$

7. * Для допуску до заліку студенти повинні захистити лабораторні роботи та виконати і захистити РГР, та мати стартовий рейтинг не менше ніж 0,5 r_C **(26 балів).**

8. Студенти, що з поважних причин мають пропуски лекційних, лабораторних занять допускаються до здавання робіт лише за наявності медичної довідки.

9. Штрафні та заохочувальні бали за (не більше 10% від r_C для кожної групи):
- пропуск лабораторної роботи без поважної причини - (-)1 бал;
- несвоєчасне (пізніше ніж на тиждень) подання РГР (-) 3 бали;
- участь у факультетській олімпіаді з дисципліни, модернізації лабораторних робіт, виконання завдань із удосконалення дидактичних матеріалів з дисципліни надається від 5 до 10 заохочувальних балів.

отформатировано: Шрифт: 12 пт

10. Сума стартових балів та балів за залікову контрольну роботу переводиться до залікової оцінки згідно з таблицею:

Бали	Оцінка
100…95	Відмінно
94…85	Дуже добре
84…75	Добре
74…65	Задовільно
64…60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Стартовий рейтинг менше ніж 0,5 r_C (**26 балів**). Є не зараховані лабораторні роботи або не зарахована РГР	Не допущено

9. Додаткова інформація з освітнього компонента

Питання для самопідготовки до виконання РГР:

https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=254721

Питання для самопідготовки до складання заліку:

https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=254720

Приклад тесту за умови складання заліку on-line:

https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=254718

~~Сума стартових балів та балів за екзаменаційну роботу переводиться у рейтингову оцінку згідно з таблицею 2.~~

~~**Екзамен в умовах дистанційного навчання проводиться через складання тесту on-line *в системі дистанційного навчання Moodle*.**~~

~~Тест складається з 20 питань, які випадковим способом обираються з бази питань. Кожне питання оцінюється в 2 бали.~~

~~Максимальна кількість балів, які можна отримати за складання тесту 20х2 б.=40 б. Правильних відповідей на питання може бути більше однієї, що програмно враховано при парахуванні балів.~~

~~Тест зараховується, якщо студент набрав не менше від 60% від максимальної кількості балів, що становить не менше 24 балів.~~

~~Сума стартових балів та балів за екзаменаційний тест переводиться у рейтингову оцінку згідно з таблицею 2:~~

~~**Таблиця 2. Переведення суми стартових і екзаменаційних балів у рейтингову оцінку з кредитного модуля RD:**~~

~~$RD=R_c+R_E$~~	~~Оцінка ECTS~~	~~Традиційна оцінка~~

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: По ширине, Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

отформатировано: Шрифт: 12 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, интервал Перед: 0 пт

Отформатировано: Отступ: Слева: 0,63 см, Первая строка: 0,12 см, интервал Перед: 12 пт, нумерованный + Уровень: 1 + Стиль нумерации: 1, 2, 3, … + Начать с: 9 + Выравнивание: слева + Выровнять по: 1,27 см + Отступ: 1,9 см, Поз.табуляции: нет в 1,27 см

отформатировано: Шрифт: (по умолчанию) Times New Roman

отформатировано: Шрифт: не полужирный, подчеркивание, Цвет шрифта: Синий

Отформатировано: интервал после: 12 пт

Добавлено примечание ([T5]): якщо залік, то просто R

Отформатировано: По центру

95…100	A	відмінно
85…94	B	добре
75…84	C	
65…74	D	задовільно
60…64	E	
< 60	F_x	незадовільно
$R_c < 30$ або не виконані інші умови допуску до екзамену	F	не допущений

1. Додаткова інформація з освітнього компонента

Питання для самопідготовки до виконання РГР:

https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=227816

Питання для самопідготовки до складання екзамену:

https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=227819

https://do.ipo.kpi.ua/mod/page/view.php?id=90832

Приклад тесту за умови складання екзамену on-line:

https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=221609

Силлабус освітнього компоненту:

https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=254666

Робочу програму освітнього компоненту (силлабусу):

Складено: професор, д.т.н., професор Котляров Валерій Павлович

Ухвалено оновлення силлабусу: кафедрою ЛТ та ФТТ (протокол № 4 5 від 3017 .11 11 .20223 р.)

Погоджено Методичною комісією НН ІМЗ ім Є.О. Патона

(протокол № 05/23 5/22 від 1112.12 12 .2022 2023 р.)

Отформатировано: По центру
Отформатировано: По центру
Отформатировано: По центру
Отформатировано: По центру
Отформатировано: По центру
Отформатировано: По центру
Отформатировано: интервал после: 6 пт
отформатировано: Шрифт: курсив
Отформатировано: интервал Перед: 6 пт
отформатировано: Шрифт: не полужирный, курсив, Цвет шрифта: Синий
отформатировано: Шрифт: не полужирный, курсив, Цвет шрифта: Светло-синий